

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1. Konzentrationsmaße .....	1
1.2. Signifikante Stellen .....	2
1.3. Beispiele .....	5
<b>2. Thermodynamik I: Grundbegriffe .....</b>	<b>7</b>
2.1. Allgemeines .....	7
2.2. Energieerhaltung und Energieumwandlung .....	8
2.2.1. Erster Hauptsatz für geschlossene Systeme .....	8
2.2.2. Erster Hauptsatz für offene Systeme .....	9
2.2.3. Energieformen und ihre Berechnung .....	10
2.2.4. Zweiter Hauptsatz .....	17
2.2.5. Zusammenstellung der Berechnungsmöglichkeiten für die Enthalpie und Entropie .....	18
2.3. Gleichgewichtszustände .....	19
2.3.1. Zustandsgleichungen .....	20
2.3.2. Phasengleichgewichte .....	21
2.3.3. Reaktionsgleichgewichte .....	25
2.4. Beispiele .....	31
<b>3. Grundlagen Wärme-, Stoff- und Impulstransport .....</b>	<b>53</b>
3.1. Einleitung: Mechanismus .....	53
3.2. Transportgrößen .....	54
3.3. Konduktive Transportvorgänge .....	56
3.3.1. Instationäre Transportvorgänge .....	57
3.3.2. Transportkoeffizienten (Leitwerte) und Ausgleichskoeffizienten .....	57
3.3.3. Einseitige Diffusion .....	59
3.3.4. Nicht äquimolare Diffusion .....	59
3.4. Konvektive Transportvorgänge .....	60
3.4.1. Laminare und turbulente Strömung, Propfenströmung .....	64
3.4.2. Film-Theorie .....	66
3.4.3. Grenzschichten .....	68
3.4.4. Analogie .....	69
3.5. Wärme- und Stoffdurchgang .....	70
3.5.1. Berechnung von Wärmeaustauschern .....	72
3.6. Wärmestrahlung .....	72
3.7. Beispiele .....	74
<b>4. Bilanzen .....</b>	<b>100</b>
4.1. Grundlagen .....	100
4.1.1. Bilanzgrößen .....	100
4.1.2. Bilanzgebiet .....	100
4.1.3. Allgemeine Bilanzgleichungen .....	101
4.2. Stoffbilanzen .....	102
4.2.1. Transportterme .....	102
4.2.2. Speicherterm .....	102
4.2.3. Generationsterm .....	103
4.2.4. Bilanzgleichungen .....	103

4.2.5. Atombilanzen .....	105
4.3. Energiebilanzen .....	105
4.4. Impulsbilanzen .....	107
4.4.1. Berücksichtigung von Feldgrößen.....	109
4.5. Entropiebilanzen.....	111
4.5.1. Exergiebilanzen .....	112
4.6. Zusammenstellung der integralen Bilanzgleichungen.....	113
4.7. Anlagenbilanzen .....	114
4.7.1. Freiheitsgradanalyse .....	115
4.7.2. Lösen des Gleichungssystems .....	117
4.8. Beispiele .....	118
4.8.1. Stoffbilanzen .....	118
4.8.2. Energiebilanzen .....	130
4.8.3. Impulsbilanzen .....	160
4.8.4. Entropie- und Exergiebilanzen .....	168
4.8.5. Anlagenbilanzen .....	171
5. Druckverlust .....	194
5.1. Druckverlust in Rohrleitungen .....	194
5.1.1. Gerade Leitungsabschnitte .....	194
5.1.2. Gekrümmte Leitungsabschnitte .....	198
5.1.3. Rohrleitungseinbauten.....	200
5.1.4. Anlagendruckverlust .....	205
5.1.5. Offene Kanäle.....	205
5.2. Druckverlust bei der Durchströmung von Haufwerken .....	206
5.2.1. Kuchenfiltration.....	206
5.2.2. Tiefenfiltration.....	209
5.3. Fließbett / Wirbelschicht .....	210
5.4. Druckverlust in Stoffaustauschkolonnen .....	211
5.4.1. Druckverlust in Benetzungskolonnen.....	211
5.4.2. Druckverlust an Kolonnenböden .....	215
5.5. Zyklon .....	217
5.6. Beispiele .....	219
6. Partikelgrößen und Partikelgrößenverteilungen.....	239
6.1. Partikeleigenschaften .....	239
6.1.1. Partikelgröße .....	239
6.1.2. Partikelform .....	240
6.1.3. Partikelverteilungen.....	240
6.2. Trennen von Partikeln .....	245
6.2.1. Begriffe und Definitionen.....	245
6.3. Beispiele .....	247
7. Partikeltrennverfahren .....	259
7.1. Sedimentation .....	259
7.1.1. Stationäre Sedimentation kugelförmiger Einzelpartikel.....	259
7.1.2. Stationäre Sinkgeschwindigkeit von nicht kugelförmigen Partikeln und Partikelschwärmen .....	262
7.1.3. Auslegung Sedimentationsbecken.....	262
7.1.4. Instationäre Sedimentation .....	263

7.2.	Partikelabscheidung im Zylkon .....	264
7.3.	Beispiele: .....	265
8.	<b>Thermische Trennverfahren I .....</b>	<b>276</b>
8.1.	Einstufige Trennoperationen .....	276
8.1.1.	Theoretische Stufe .....	276
8.1.2.	Gleichgewichtsgesetze für physikalisch wirkende Trennverfahren .....	276
8.1.3.	Trennverfahren mit chemischer Reaktion .....	278
8.1.4.	Beispiele zu einstufigen Trennoperationen .....	278
8.2.	Mehrstufige Gegenstromoperationen .....	293
8.2.1.	Beispiele zu mehrstufigen Trennoperationen .....	295
9.	<b>Wässrige Lösungen .....</b>	<b>301</b>
9.1.	ideal verdünnte Lösungen .....	301
9.1.1.	Ionenprodukt Wasser .....	301
9.1.2.	Säuren und Basen, pH-Wert Berechnungen .....	305
9.1.3.	Lösungs- und Fällungsreaktionen, Komplexbildung .....	306
9.1.4.	Gase .....	307
9.2.	Berücksichtigung von Aktivitätskoeffizienten .....	308
9.2.1.	Allgemeines .....	308
9.2.2.	Arten von Aktivitätskoeffizienten .....	308
9.2.3.	Die Debye-Hückel Theorie .....	309
9.2.4.	Erweiterung der Debye-Hückel-Theorie ohne Berücksichtigung von Nahwirkungen ..	310
9.2.5.	Erweiterung der Debye-Hückel-Theorie mit Berücksichtigung von Nahwirkungen ..	311
9.3.	Elektrochemie .....	312
9.4.	Beispiele: .....	315
10.	<b>Chemische Kinetik .....</b>	<b>337</b>
10.1.	Bestimmung von Reaktionsordnungen .....	339
10.1.1.	irreversible Reaktion $A \rightarrow$ Produkte .....	339
10.1.2.	irreversible Reaktion $a A + b B \rightarrow$ Produkte .....	339
10.1.3.	reversible Reaktion $a A + b B \leftrightarrow c C + d D$ .....	339
10.1.4.	irreversible Parallelreaktionen .....	340
10.1.5.	irreversible Folgereaktionen .....	340
10.2.	Reaktionsgeschwindigkeitskonstante .....	341
10.3.	Enzymkinetik .....	342
10.4.	Beispiele .....	344
11.	<b>Reaktionstechnik .....</b>	<b>352</b>
11.1.	Begriffe und Definitionen .....	352
11.2.	Bilanzgleichungen für isotherme ideale Reaktoren .....	353
11.2.1.	Diskontinuierlicher Rührkessel .....	353
11.2.2.	Kontinuierlicher Rührkessel (kRK) .....	354
11.2.3.	Ideales Strömungsrohr .....	354
11.2.4.	Schlaufenreaktor, Kreislaufreaktor .....	355
11.2.5.	Rührkesselkaskade .....	356
11.2.6.	Strömungsrohr und Rührkessel .....	357
11.2.7.	Gleichungen bei Änderung des Reaktionsvolumens .....	357
11.3.	Verweilzeitverteilung in idealen Reaktoren .....	358
11.3.1.	Kenngrößen der Verweilzeitverteilungen .....	358

11.3.2.	Idealer Rührkessel .....	359
11.3.3.	Ideales Strömungsrohr.....	359
11.3.4.	Ideale Rührkesselkaskade.....	359
11.3.5.	Laminar durchströmtes Rohr .....	360
11.4.	Reale Reaktoren .....	360
11.4.1.	Segregationsmodell, Null-Parameter-Modell.....	361
11.4.2.	Ein-parametrische Modelle.....	361
11.4.3.	Zwei-parametrische Modelle .....	363
11.5.	Bilanzierung adiabater idealer Reaktoren .....	364
11.5.1.	Diskontinuierlicher Rührkessel .....	364
11.5.2.	Ideales Strömungsrohr.....	365
11.5.3.	Idealer Rührkessel .....	365
11.6.	Heterogen katalysierte Reaktionen.....	366
11.6.1.	Reaktionen an festen Katalysatoren .....	366
11.6.2.	Diffusion mit Reaktion .....	367
11.6.3.	Gas-Flüssig-Reaktionen .....	368
11.7.	Beispiele .....	369
12.	<b>Thermodynamik II .....</b>	<b>401</b>
12.1.	Zustandsgleichungen .....	401
12.2.	Reinphasen (eine Phase, eine Komponente).....	402
12.2.1.	Anwendungen.....	403
12.3.	eine Komponente, zwei Phasen .....	406
12.4.	Mehrere Komponenten in einer Phase .....	406
12.4.1.	Mischungsgröße $\Delta m$ .....	407
12.4.2.	Partielle molare Größen.....	407
12.4.3.	Exzessgrößen .....	408
12.5.	Mehrere Komponenten in zwei Phasen .....	410
12.5.1.	Berechnung des unsymmetrischen Aktivitätskoeffizienten.....	411
12.5.2.	Berechnung des symmetrischen Aktivitätskoeffizienten .....	411
12.6.	Beispiele .....	413
13.	<b>Wärme-, Stofftransport II .....</b>	<b>432</b>
13.1.	Stationäre, eindimensionale Wärmeleitung .....	432
13.2.	Stationäre, zweidimensionale Wärmeleitung .....	432
13.3.	Instationäre, eindimensionale Wärmeleitung .....	433
13.3.1.	endlich dicke Körper .....	434
13.3.2.	unendlich dicke Körper .....	436
13.4.	Numerische Lösungen der Wärmetransportgleichungen .....	437
13.4.1.	Stationäre Wärmeleitung .....	438
13.4.2.	Instationäre Wärmeleitung .....	440
13.5.	Beispiele: .....	442
14.	<b>Thermische Trennverfahren II .....</b>	<b>454</b>
14.1.	Berechnung der Kolonnenhöhe mit dem Stoffaustauschkonzept .....	454
14.1.1.	Stoffaustausch mit chemischer Reaktion.....	455
14.2.	Siede- und Taupunktberechnung .....	457
14.2.1.	Eine Komponente in Flüssig- und Dampfphase .....	457
14.2.2.	Eine Komponente in Flüssigphase, zwei Komponenten in Gasphase .....	458
14.2.3.	Zwei Komponenten in Flüssigphase, eine in Dampfphase .....	459

---

14.2.4. Zwei oder mehr Komponenten in Flüssig- und Gasphase .....	459
14.2.5. Zwei Komponenten, Gasphase und zwei flüssige Phasen .....	459
14.2.6. Drei Komponenten, eine Gasphase und zwei flüssige Phasen .....	460
14.3. Diskontinuierliche Destillation .....	461
14.3.1. Vereinfachte Gleichgewichtsdarstellung bei der Destillation .....	461
14.3.2. Einstufige diskontinuierliche Destillation .....	461
14.3.3. Mehrstufige diskontinuierliche Destillation .....	462
14.4. Kontinuierliche Destillation .....	463
14.4.1. Berechnung der Stufenzahl ohne Wärmebilanz .....	464
14.4.2. Berechnung der Stufenzahl mit Wärmebilanz .....	466
14.4.3. Berechnung mit dem Wang-Henke-Verfahren .....	466
14.5. Trocknung .....	467
14.6. Beispiele .....	469
14.6.1. Beispiele zur Absorption .....	469
14.6.2. Beispiele Destillation .....	493
14.6.3. Beispiele Adsorption .....	511
14.6.4. Beispiele Extraktion .....	514
14.6.5. Beispiele Trocknung .....	516
15. Anhang .....	522
15.1. Beispielverzeichnis .....	522
15.2. Stoffdaten .....	532
15.3. Dimensionslose Kennzahlen .....	537
15.4. Stoffübergangs-Beziehungen .....	541
15.4.1. Stoffübertragung an feste Grenzflächen .....	541
15.4.2. Durchströmte Rohre .....	542
15.4.3. Durchströmte Haufwerke .....	542
15.4.4. Stoffübertragung an fluide Grenzflächen .....	543
15.4.5. Absorption an Füllkörpern .....	544
15.4.6. Absorption an Rieselfilmen in Rohren .....	544
15.4.7. Absorption in Sprühürmen .....	545
15.4.8. Auflösen und Kristallisieren in Rührkesseln .....	545
Symbolverzeichnis .....	544
Literaturverzeichnis .....	549
Sachverzeichnis .....	552